
NOTITIE

AAN	:	Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, DGWB
VAN	:	Persoonsgegevens en Persoonsgegevens
ONDERWERP	:	Berekening bandbreedte prognose dijkversterkingsopgave
DATUM	:	21 november 2024
DOCUMENTNR.	:	24039-N-001
STATUS	:	Definitief

1) Inleiding

In Nederland wordt gewerkt aan de versterking van waterkeringen. Deze werkzaamheden zijn ondergebracht in het programma Rijkskeringen dat door RWS wordt uitgevoerd en het Hoogwaterbeschermingsprogramma (HWBP) waarin de waterschappen de versterkingsprojecten uitvoeren onder een subsidieregeling. Inmiddels is de eerste Landelijke Beoordelingsronde Overstromingskans (LBO1) voor alle keringen afgerond geïnspecteerd, waardoor IenW een compleet beeld heeft van de omvang van de versterkingsopgave.

Eind 2023 is een globale kosteninschatting (GKI) van de versterkingsopgave voor de primaire waterkeringen tot 2050 opgesteld. Deze resulteerde in een totale prognose van € 24 mld. met daarop nog een forse bandbreedte. Om de nauwkeurigheid van deze inschatting te vergroten, is er op bepaalde onderdelen nader onderzoek gedaan. Dat heeft met name geresulteerd in verbeterd beeld van de versterkingslengte per traject (aantal te versterken km's). Deze versterkingslengte valt lager uit. Op basis van deze nieuwe inzichten heeft IenW de prognose bijgesteld. De verwachte totale kosten bedragen € 17,6 mld.

Aan Horvat & Partners is gevraagd om de bandbreedte nauwkeuriger te bepalen voor de bijgestelde inschatting en de nieuwe beschikbare gegevens betreffende de versterkingsopgave. Wij hebben de bandbreedte kwantitatief inzichtelijk gemaakt door middel van een probabilistische analyse.

Deze notitie bevat het resultaat van onze analyse en is als volgt opgebouwd. De volgende paragraaf beschrijft de scope en uitgangspunten van onze analyse. Daarna lichten we de ontvangen prognose en beschikbare gegevens toe. Vervolgens beschrijven de berekening van de bandbreedte en het resultaat daarvan. De notitie bevat een aantal bijlagen. Deze beschrijven de onderbouwing van de toegepaste spreidingen, de inschatting van de afhankelijkheid tussen de trajecten en de berekeningsmethode.

2) Scope en uitgangspunten

De basis van onze analyse van de bandbreedte zijn de verwachte kosten uit de bijgestelde prognose zoals IenW die heeft ingeschat. Deze prognose is tot stand gekomen op basis van de eerdere globale kosteninschatting (GKI) uit 2023, waarop vervolgens bijstellingen zijn gedaan op basis van een verbeterd inzicht in de versterkingslengte per traject.

De scope van de analyse van de bandbreedte sluit aan op deze prognose en de GKI. Deze prognose betreft versterkingen van primaire keringen tot 2050, zowel voor trajecten die onder het programma Rijkskeringen als het HWBP vallen. We hebben geen beoordeling uitgevoerd van de betrouwbaarheid van de prognose of onderliggende kentallen, anders dan nodig om een beeld te vormen van de onzekerheden ten behoeve van de analyse van de bandbreedte.

Voor onze analyse hebben we de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- We voeren geen correcties door op de verwachtingswaarde van de prognose. De bandbreedte sluit qua definitie voor de kosten aan op de prognose. Deze kosten en alle genoemde waarden in deze rapportage zijn inclusief btw en kennen een prijspeil van 1 januari 2023¹, tenzij anders vermeld. Dat betekent dat prijsontwikkelingen tot uitvoering van de versterkingen geen onderdeel uitmaken van de prognose. Verder is de prognose bedrijfseconomisch, wat betekent dat deze geen tijdelijke markteffecten bevat voor het moment van prijsvorming voor de verschillende trajecten. Het eindresultaat van onze analyse vermelden we aanvullend in prijspeil 1 januari 2024, op basis van een indexeringspercentage van 4,72% dat IenW heeft berekend.
- Voor de onzekerheid in de versterkingslengte per traject gaan we uit van de kansverdelingen die IenW heeft aangeleverd. Dat zijn driehoeksverdelingen met L (laagste), T (meest waarschijnlijke) en U (uiterste) waarde. Deze verdelingen komt voort uit de Opgave en Ontwikkelbehoefte Gesprekken (OOG). De rapportage van het HWBP [003] beschrijft de totstandkoming van deze verdelingen.
- We maken zelf een inschatting van de overige relevante onzekerheden op basis van ervaring en kengetallen. Dat betreft met name de onzekerheid van de kosteninschattingen en de mate van afhankelijkheid tussen de trajecten.
- We houden in onze analyse van de bandbreedte rekening met onzekerheden die ook deel uitmaken van de verwachtingswaarde van de prognose. Uitgangspunt daarbij is dat alle onzekerheden onderdeel uitmaken van de aangeleverde verwachtingswaarden, met uitzondering van de impact van eventuele wijzigingen van de normering of andere beleidswijzigingen. We hebben de onderliggende kengetallen daar niet op beoordeeld. We benadrukken verder dat beleidswijzigingen potentieel wel een grote impact kunnen hebben.

De ontvangen prognose sluit op € 17,6 mld. Deze is opgebouwd uit 157 trajecten waarvoor versterkingskosten zijn geraamd. Per traject is beschikbaar:

- de versterkingslengte (km) en kostenraming (€/km);
- de driehoeksverdeling (LTU) voor de versterkingslengte;
- een toelichting op de toegepaste methode voor de kosteninschatting.

De versterkingslengte per traject en de verdeling daarvan is tot stand gekomen via de OOG. Aan de hand van deze gesprekken zijn specialisten van de waterschappen en externe specialisten tot een bijgestelde inschatting van de versterkingslengte gekomen. De resultaten uit de LBO1 waren het vertrekpunt voor deze gesprekken. Dit heeft geresulteerd in een meeste waarschijnlijke versterkingslengte² van 1366 km (T) met een bandbreedte van 1070 tot 1750 km (L-U).

Voor de trajecten zijn verschillende methoden van kosteninschatting toegepast. We onderscheiden drie typen:

1. SSK-raming. Voor deze projecten is een raming opgesteld. Deze worden voor versterkingsproject in ieder geval opgesteld aan het einde van de verkenningsfase en de planuitwerkingsfase. Op basis van de ontvangen gegevens is niet duidelijk bij welke fase de ramingen behoren.
2. Referentieprojecten. Voor deze projecten is geen gedetailleerde raming beschikbaar. Er lijkt een globale kosteninschatting op basis van de kosten van vergelijkbare projecten.
3. Referentiekader / kengetal per km. Voor deze projecten zijn de kosten per kilometer ingeschat op basis van het referentiekader van het HWBP [002], of er staat vermeld dat een kengetal is toegepast. Bij toepassing van het referentiekader is de hoogte van het kengetal gedifferentieerd naar complexiteit van het project. [001b] Deze projecten zullen over het algemeen nog niet zijn gestart.

¹ Voor twee trajecten heeft IenW ramingen gebruikt in de prognose die na de GKI uit 2023 zijn opgesteld. Die kunnen een afwijkend prijspeil kennen. We verwachten dat dit een beperkte impact op de prognose zal hebben.

² In de rapportage van het HWBP is deze afgerond naar 1360 km. Wij houden in onze analyse het totaal van de ontvangen gegevens van 1366 km aan.

Tabel 1 toont de verdeling van de trajecten over de verschillende typen kosteninschattingen. Daaruit blijkt dat het merendeel van de trajecten is geraamd op basis van een kengetal.

Type inschatting	Aantal trajecten [-]	Kosten [€ mld.]	Lengte [km]
SSK-raming	14	3,3 (19%)	245 (18%)
Referentieprojecten	14	1,7 (9%)	138 (10%)
Kengetal	129	12,7 (72%)	983 (72%)
Totaal	157	17,6	1366

Tabel 1: De trajecten verdeeld over de verschillende typen kosteninschattingen. Voor twee trajecten (met alleen kunstwerken) ontbreekt een toelichting over het type kosteninschatting. Deze hebben we geclassificeerd onder referentieprojecten. De totale kosten daarvan zijn beperkt.

We merken op dat IenW de prognose heeft gebaseerd op de meest waarschijnlijke waarde van de versterkingslengte per traject, en niet op de verwachtingswaarde daarvan. Doordat de verdeling van de versterkingslengte gemiddeld een positieve verschuiving kent³, resulteert dat in een (lichte) onderschatting van de verwachte kosten.

3) Berekening bandbreedte

We houden in de berekening van de bandbreedte rekening met drie typen onzekerheid:

1. Onzekerheid in versterkingslengte

De versterkingslengte (aantal te versterken km's) is voor veel trajecten nog onzeker. Het HWBP heeft hiervoor per traject een kansverdeling ingeschat met driehoeksverdeling.

2. Onzekerheid in de kosten van te versterken lengte

De kosten van versterkingsprojecten kennen onzekerheid, zoals gebruikelijk bij alle infrastructurele projecten. Dit betreft onzekerheid in het benodigde versterkingsconcept of ontwerp, hoeveelheden, prijzen en risico's. Deze onzekerheid is met name afhankelijk van de fase van het project. Naarmate de voorbereiding van een project vordert, neemt deze onzekerheid af door verdere uitwerking en onderzoek.

3. Onzekerheid rekenmethode en brongegevens (modelfactor)

Aanvullend op bovengenoemde toekomstonzekerheden bestaat de kans dat gegevens uit de kosteninschatting (GKI en bijstellingen) fouten bevatten. Ook de inschattingen die wij aanvullend doen voor spreidingen en afhankelijkheid kennen onzekerheid. We houden rekening met deze onzekerheid door middel van een modelfactor.

Per traject verschilt de onzekerheid in de versterkingslengte en kosteninschatting. Deze onzekerheden schatten we daarom in op trajectniveau. Hoe deze optellen tot de totale onzekerheid hangt in sterke mate af van de afhankelijkheid tussen trajecten. Bij volledige afhankelijkheid is de totale onzekerheid op de kosten gelijk aan de gemiddelde onzekerheid van de individuele trajecten. Een deel van de onzekerheden is echter onafhankelijk. Dat betekent dat de kosten van een traject kunnen tegenvallen, en van een ander traject kunnen meevallen. Deze onafhankelijkheid dempt de onzekerheid op programmaniveau uit; de procentuele bandbreedte op de totale programmakosten

³ Bij een scheve driehoeksverdeling wijkt de verwachtingswaarde (μ) af van de meest waarschijnlijke waarde (T). De verwachtingswaarde is gelijk aan $\mu = (L+T+U)/3$. Over alle trajecten kennen de driehoeksverdelingen gemiddeld een positieve verschuiving: de kans dat de versterkingslengte hoger uitvalt dan de meest waarschijnlijke waarde is groter dan dat deze lager uitvalt. Daar is uitgegaan van de T-waarde, wordt de verwachtingswaarde van de kosten (licht) onderschat. Bovendien vallen daardoor een aantal trajecten weg uit de prognose en de analyse van de bandbreedte, waarvoor is ingeschat dat het meest waarschijnlijk is dat er geen versterking nodig is (T = 0), maar wel een uiterste waarde is opgenomen (en dus $\mu \neq 0$).

ligt dan lager dan op de individuele trajecten. Hoe groter het aantal trajecten, hoe sterker dit dempende effect van onafhankelijkheid doorwerkt. We houden hier rekening mee in onze analyse aan de hand van een afhankelijkheidsfactor. Op de resulterende bandbreedte die volgt uit het totaal van de trajecten passen we vervolgens nog een modelfactor toe. Deze factor is bedoeld om rekening te houden met onzekerheden in de aangeleverde informatie en onze analyse. Hieruit volgt de totale bandbreedte op de prognose. Bijlage C beschrijft hoe we de berekening van de bandbreedte hebben uitgevoerd.

Tabel 2 toont de gemiddelde variatiecoëfficiënten voor de versterkingslengte, kosteninschatting en modelfactor die zijn toegepast in de berekening. Bijlage A bevat hiervan een onderbouwing en verdere detaillering. Hieruit blijkt dat de onzekerheid in de kosten van de versterkingen dominant is, in tegenstelling tot de versterkingslengte of de modelfactor. Deze onzekerheid komt met name voort uit dat de kosteninschatting van de meeste trajecten nog is gebaseerd op kengetallen (uit het referentiekader). Deze kennen een relatief grote bandbreedte. Na verloop van tijd zal deze bandbreedte afnemen, wanneer de voorbereidingen van versterkingsprojecten worden doorlopen, en op basis van ontwerp en onderzoek een betrouwbaardere raming wordt opgesteld.

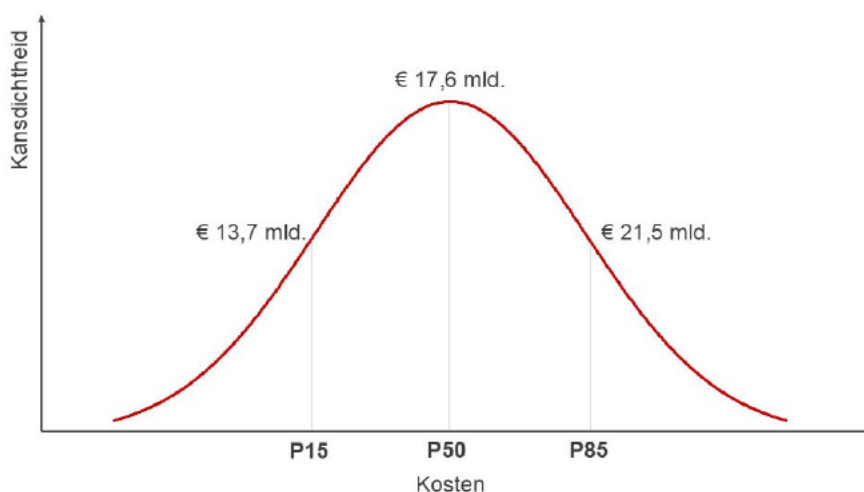
Type onzekerheid	Gemiddelde variatiecoëfficiënt
Versterkingslengte	9%
Kosteninschatting	43%
SSK-ramingen	20%
Referentieprojecten	30%
Referentiekader/kengetal	50%
Modelfactor	10%

Tabel 2: Gemiddelde variatiecoëfficiënten op de versterkingslengte, kosteninschattingen en modelfactor

Voor het bepalen van de afhankelijkheidsfactor hebben we de onzekerheden in beeld gebracht in een werksessie met betrokken van het HWBP, waterschappen en IenW. We verwachten dat het merendeel van de onzekerheden onafhankelijk is tussen de trajecten. Op basis daarvan schatten we de afhankelijkheidsfactor (veilig) in op 0,4. Bijlage B bevat een nadere onderbouwing van deze factor.

4) Resultaat bandbreedte

De bijgestelde prognose bedraagt € 17,6 mld. Uit de probabilistische analyse volgt een bandbreedte op deze prognose van € 13,7 mld. (P15) tot € 21,5 mld. (P85). De variatiecoëfficiënt bedraagt 21,4%.



Figuur 1: De bandbreedte op de prognose met P15, P50 en P85-waarden (prijspeil 2023)

Deze bandbreedte is kleiner dan was berekend voor de prognose van de GKI. Dat is het gevolg van een aanscherping van de berekening van de bandbreedte op meerdere punten. Ten eerste is aan de hand van de Opgave- en Ontwikkelbehoeftegesprekken de versterkingslengte nader onderzocht en is de onzekerheid daarop gekwantificeerd. Deze onzekerheden hebben wij meegenomen in de berekening, waar in de GKI de versterkingslengte als zeker was verondersteld. Daarnaast hebben we de onzekerheden op de kosteninschattingen ingeschat en rekening gehouden met modelonzekerheden. Ten slotte houdt onze berekening rekening met (enige mate van) onafhankelijkheid tussen de trajecten. Voor het ene traject kunnen kosten meevallen, terwijl voor het andere traject kosten kunnen tegenvallen. Met name dit dempende effect resulteert in een lagere bandbreedte op de totale opgave.

De dominante onzekerheid in de bandbreedte zijn de versterkingen dominant is, in tegenstelling tot de versterkingslengte of de toegepaste modelfactor. Deze onzekerheid komt met name voort uit dat de kosteninschatting van de meeste trajecten nog is gebaseerd op kengetallen uit het referentiekader. Deze kennen een relatief grote bandbreedte. Na verloop van tijd zal deze bandbreedte afnemen, wanneer de voorbereidingen van versterkingsprojecten worden doorlopen, en op basis van ontwerp en onderzoek een betrouwbaardere raming wordt opgesteld.

Ten slotte merken we op dat de recente evaluatie van de subsidieregeling en onze eigen ervaring, aangeeft dat de prikkels uit de subsidieregeling van het HWBP kunnen leiden tot risicomijdend bij de waterschappen en daarmee tot hogere risicoreserveringen en kostenramingen. We benadrukken dat een passende beheersing op de kosten van versterkingsprojecten voorwaarde is voor het behalen van zowel de verwachtingswaarde als bandbreedte van de prognose.

Prijspeilcorrectie 2023-2024

Na uitvoeren van deze analyse is verzocht de prognose en bandbreedte aanvullend op een prijspeil van 1 januari 2024 te vermelden. Voor deze prijspeilcorrectie passen we een indexeringspercentage van 4,72% toe. Dit percentage heeft IenW berekend en hebben wij niet getoetst. Uitgangspunt is dat dit percentage uniform toepasbaar is op de kosteninschattingen van alle onderliggende trajecten. Verdere prijsontwikkelingen vanaf dit prijspeil tot uitvoering van de versterkingen maken geen onderdeel uit van deze prognose.

Op prijspeil 1 januari 2024 bedraagt de prognose daarmee € 18,4 mld. (P50) en de bandbreedte € 14,3 mld. (P15) tot € 22,5 mld. (P85). De prijspeilcorrectie heeft geen impact op de variatiecoëfficiënt van 21,4%.

Bijlage A: Onderbouwing van de spreidingen

We schatten de bandbreedte in voor de drie typen onzekerheden: i) versterkingslengte, ii) kosteninschatting en iii) modelfactor. We drukken de bandbreedte uit in variatiecoëfficiënten ($vc = \sigma/\mu$), waaruit de spreiding (σ) rond de verwachtingswaarde (μ) volgt.

Versterkingslengte

Voor de onzekerheid in de versterkingslengte gaan we uit van de verdelingen die het HWBP met de Opgave- en Ontwikkelbehoeftegesprekken (OOG) heeft ingeschat. Tabel 3 toont de gemiddelde variatiecoëfficiënt op te versterken kilometers voor de verschillende trajecten, verdeeld naar trajecten waar de versterkingslengte nog onzeker is en trajecten waar de volledig vaststaat.

Trajecten met:	Aantal [-]	Te versterken [km]	Financiële omvang [€ mld.]	Variatiecoëfficiënt te versterken km [-]
Onzekere lengte	92	789	€ 10,0	15%
Zekere lengte	65	577	€ 7,6	0%
Totaal	157	1366	€ 17,6	8,7%

Tabel 3: Gemiddelde variatiecoëfficiënt op te versterken kilometers voor de verschillende trajecten

Voor 92 van de 157 trajecten is de versterkingslengte nog onzeker. Voor de overige 65 trajecten is er geen onzekerheid meer, bijvoorbeeld doordat de voorbereiding al vergevorderd is. Ook trajecten met kunstwerken vallen in deze categorie. De gemiddelde⁴ variatiecoëfficiënt over alle trajecten bedraagt 8,7%.

Versterkingskosten

Voor alle trajecten waarvoor kosten zijn geraamd, is een toelichting beschikbaar van de toegepaste methode. We onderscheiden daarin drie relevante typen kosteninschattingen en bijbehorende mate van onzekerheid: SSK-ramingen, referenties en referentiekader/kengetal. Aanvullend maken we onderscheid tussen inschattingen op basis van ramingen en referenties die wel en niet zijn bijgesteld voor nieuw inzicht in versterkingslengte. Tabel 4 toont een overzicht van de ingeschatte variatiecoëfficiënt op de kosten voor de verschillende trajecten.

Type inschatting	Aantal [-]	Te versterken [km]	Financiële omvang [€ mld.]	Variatiecoëfficiënt kosten per km [-]
SSK-raming	11	188	€ 2,63	20%
SSK-raming (bijgesteld)	3	57	€ 0,66	30%
Referenties	13	130	€ 1,53	30%
Referenties (bijgesteld)	1	8	€ 0,13	40%
Referentiekader / kengetal	129	983	€ 12,65	50%
Totaal	157	1366	€ 17,6	43% (gemiddelde)

Tabel 4: Variatiecoëfficiënten op kosten voor de verschillende inschattingmethoden

Deze variatiecoëfficiënten hebben we als volgt ingeschat:

1. SSK-raming voor lopende projecten

Dergelijke ramingen worden opgesteld aan het einde van de verkenningsfase en de planuitwerkingsfase. Gangbaar is dat de variatiecoëfficiënt aan einde verkenningsfase maximaal 25% bedraagt en einde planuitwerkingsfase maximaal 15%. Op basis van de ontvangen gegevens is

⁴ We vermelden hier het gemiddelde gewogen op basis van de totale kosten van ieder traject ($km \times \text{€}/km$). Hierin is het effect van onafhankelijkheid tussen de trajecten nog niet in meegenomen.

niet duidelijk bij welke fase de ramingen horen. We gaan daarom uit van een variatiecoëfficiënt van 20% voor deze projecten.

Voor een deel van de projecten zijn de kosten wel gebaseerd op een SSK-raming, maar zijn deze vervolgens bijgesteld op basis van de nieuwe inschatting van de versterkingslengte. Deze kosteninschattingen kennen een minder grote zekerheid. We houden daarvoor een hogere variatiecoëfficiënt van 30% aan.

2. Referenties

Voor een deel van de projecten is geen SSK-raming beschikbaar, maar lijkt voor de kosteninschatting wel expliciet te zijn gekeken naar de kosten van vergelijkbare projecten. Deze kosteninschatting achten we betrouwbaarder dan een algemeen kengetal (per km), maar minder nauwkeurig dan een raming. We schatten de gemiddelde variatiecoëfficiënt op 30% voor deze projecten.

Een enkel traject met dit type kosteninschatting is bijgesteld op basis van de nieuwe versterkingslengte. We houden daarvoor een hogere variatiecoëfficiënt van 40% aan.

3. Referentiekader of kengetal

Voor de meeste projecten zijn de kosten per kilometer ingeschat op basis van het referentiekader van het HWBP [002], of er staat vermeld dat een kengetal is toegepast. Deze projecten zullen over het algemeen nog niet zijn gestart. Voor een dergelijke raming op basis van kengetallen is een variatiecoëfficiënt van 50% gangbaar. Omdat deze kosteninschattingen al gebaseerd zijn op een kilometerprijs, doen we geen bijstelling voor projecten waarvan de lengte is aangepast.

Om een verdere indruk te krijgen van de betrouwbaarheid van de kosteninschattingen, hebben we het verschil in de gemiddelde kosten per km voor de verschillende kosteninschattingen beschouwd op basis van de ontvangen gegevens. Voor trajecten met kosten gebaseerd op SSK-ramingen bedraagt het gemiddelde € 14,0 mln. per km (€ 2,63 mld. voor 188 km). Voor trajecten met een kosteninschatting op basis van het referentiekader/kengetal bedraagt het gemiddelde € 12,9 mln. per km (€ 12,65 voor 983 km). Dat verschil is beperkt. Zeker gezien de trajecten met de hoogste faalkans uit de beoordeling, waarvoor naar verwachting ook de grootste ingrepen nodig zijn, het eerst worden versterkt. Dit geeft daarom geen aanleiding om bovengenoemde variatiecoëfficiënten bij te stellen.

Modelfactor

De verwachtingswaarde voor de programmakosten is tot stand gekomen op basis van de eerdere globale kosteninschatting (2023), waarop vervolgens bijstellingen zijn gedaan op basis van het verbeterde inzicht in de versterkingslengte per traject.

De bijstelling voor deze nieuwe versterkingslengten is enigszins bewerkelijk en voor ons niet volledig controleerbaar. Ook onze berekeningswijze voor de bandbreedte en inschattingen van parameters kennen onzekerheid. Om die reden achten we het passend om een modelfactor op te nemen. We schatten de variatiecoëfficiënt daarvan op 10%. Deze modelfactor heeft geen impact op de verwachtingswaarde ($\mu=1$, $\sigma=0,1$).

Bijlage B: Afhankelijkheid tussen trajecten

We houden in onze berekening van de bandbreedte rekening met afhankelijkheid tussen de trajecten. We doen dat aan de hand van een afhankelijkheidsfactor (a). Deze factor geeft weer welk deel van de spreiding op trajectniveau afhankelijk is over de trajecten. Dergelijke afhankelijkheid is het gevolg van onzekerheden die meerdere of alle trajecten raken. Een voorbeeld van een onzekerheid die bijdraagt aan afhankelijkheid is klimaatverandering.

De afhankelijkheidsfactor schatten we in op het niveau van de totale kosten per traject. Deze omvat de onzekerheid in zowel de versterkingslengte als de kosteninschatting van de trajecten⁵. De bandbreedte op de totale kosten wordt echter gedomineerd door die van de kosteninschattingen. De onzekerheid in de versterkingslengte heeft slechts een beperkt aandeel. In de onderbouwing van de afhankelijkheidsfactor richten we ons daarom met name op onzekerheden in de kosteninschattingen.

De onzekerheden in de kosten per versterking betreffen onzekerheden die spelen bij een gebruikelijke kosteninschatting van een project. Deze betreffen ontwerp en hoeveelheden, prijzen en ongewenste gebeurtenissen. Op basis van een werksessie met betrokken van het HWBP, waterschappen en IenW hebben we typische onzekerheden voor versterkingsprojecten in beeld gebracht.

We zien het merendeel van de bandbreedte als projectspecifiek en daarom onafhankelijk tussen de trajecten. Dit deel van de bandbreedte bestaat onder andere uit:

1. Reguliere kennis en ontwerp-onzekerheden
Dit betreft de reguliere onzekerheden die met de voortgang van ontwerpuitwerking en onderzoeken in het project afnemen, waardoor de hoeveelheden en prijzen steeds betrouwbaarder kunnen worden ingeschat. Een voorbeeld is de onzekerheid in grondgesteldheid voordat grondonderzoek heeft plaatsgevonden.
2. Kortdurende prijsvariëaties
De prijzen in ramingen en de hoogte van kengetallen zijn gebaseerd op het lange termijn niveau (gecorrigeerd voor inflatie). Toekomstige prijsfluctuaties door actuele marktomstandigheden kunnen resulteren in een ander prijsniveau. Alhoewel dat meerdere trajecten tegelijk raakt, is de verwachting dat deze kortdurende prijsvariëaties zich uitmiddelen over de tijd, gezien de lange termijn van het gehele versterkingsprogramma.
3. Projectspectifieke ongewenste gebeurtenissen
Een deel van de kosten komt voor uit ongewenste gebeurtenissen (risico's) die zich gedurende het verloop van de versterkingsprojecten voordoen. Voorbeelden zijn een mislukte aanbesteding of vertraging door een archeologische vondst. We schatten het grootste deel van de risico's projectspectiefiek en dus onafhankelijk.

We zien een aantal specifieke onzekerheden die vrijwel alle trajecten raken en die daarom resulteren in een afhankelijkheid in de bandbreedte over de trajecten:

1. Veranderende omstandigheden en kennisontwikkeling
Klimaatverandering, bodemdaling en toekomstige ontwikkelingen in kennis over faalmechanismen zijn onzeker. De onzekerheid in deze ontwikkelingen zijn meegenomen in de inschatting van de bandbreedtes op de versterkingslengte, en hebben ook impact op de keuze van het versterkingsconcept en de omvang van de benodigde versterking en daarmee de kosten. Be-

⁵ De modelfactor wordt op het niveau van de totale opgave toegepast. Dat betekent volledige afhankelijkheid tussen de trajecten. Dit achten we passend, gezien de meeste onzekerheden in de berekeningswijze, inschatting van spreidingen of fouten in de brongegevens alle trajecten beslaan. Zie ook de toelichting op de berekeningsmethode ten aanzien van afhankelijkheid.

leidswijzigingen en wijzigingen van de normering zijn uitgesloten in deze analyse (zie uitgangspunten). Dergelijke veranderende omstandigheden raken vrijwel alle trajecten, zij het in meer of mindere mate, en veroorzaken dus afhankelijk.

2. Ontwikkelingen in (omgevings)eisen aan versterkingsprojecten

Maatschappelijke ontwikkelingen kunnen resulteren in andere eisen aan versterkingsprojecten met impact op de kosten. Actuele voorbeelden zijn ontwikkelingen op het gebied van duurzaamheid, emissieloos bouwen en toenemende omgevingseisen aan de inpassing van versterkingen. De verdere ontwikkeling hiervan is onzeker. Bovendien kunnen er ontwikkelingen optreden die nu nog niet zijn voorzien. Dergelijke ontwikkelingen kunnen de kosten van alle trajecten raken en veroorzaken dus afhankelijkheid.

3. Programmatische aanpak

De versterkingsprojecten worden uitgevoerd vanuit een programmatische aanpak. Alle trajecten zijn onderhevig aan dezelfde subsidieregeling. Deze subsidieregeling kan effect hebben op de versterkingskosten. Een voorbeeld is dat de risicoverdeling tussen programma en waterschappen resulteert in een risicomijdende houding, wat impact heeft op de mate waarin risico-beheersende maatregelen worden genomen of tot een voorkeur voor bepaalde contractvormen kan leiden. Daarnaast wordt er vanuit het programma gestuurd op de kosten, onder andere met het referentiekader. De impact daarvan op de kosten is onzeker, en raakt alle trajecten. Ten slotte ligt het referentiekader ook ten grondslag aan de kosteninschatting voor een deel van de trajecten. Structurele onder- of overschattingen van dit referentiekader raken daarom de kosteninschatting van alle trajecten.

4. Structurele schaarste

Kortdurende prijsfluctuaties middelen naar verwachting uit over de duur van het programma. Langdurige schaarste van materialen, materieel of arbeid raakt wel een groot deel van de trajecten in het programma. Langdurig is in dit geval wanneer de schaarste aanhoudt over de duur van het programma. De onzekerheid die hiermee gemoeid gaat, resulteert in enige mate van afhankelijkheid tussen de kosten van trajecten.

5. Inschattingmethode versterkingslengte

Voor het bepalen van een reële veiligheidsopgave is door specialisten van waterschappen en externe specialisten duiding gegeven aan de resultaten uit de eerste landelijke beoordelingsronde. Deze inschatting kent onzekerheid als gevolg van beperkingen in de gebruikte gegevens en toegepaste kennis, en vereenvoudigingen in de schematisaties en analyses.

We verwachten dat deze onzekerheid het grootste deel van de bandbreedte op de versterkingslengte bepaald. Deze onzekerheid schatten we in als gedeeltelijk afhankelijk over de trajecten. Voor het ene traject kunnen beperkingen in beschikbare gegevens resulteren in een overschatting, voor het andere traject een onderschatting. We zien echter ook een kans op structurele onder- of overschatting voor alle trajecten, gezien voor alle trajecten een zoveel mogelijk uniforme werkwijze is aangehouden en dezelfde type gegevens zijn gebruikt.

Op basis van bovenstaande schatten we het merendeel van de bandbreedte op de versterkingskosten tussen trajecten onafhankelijk. We houden voor de versterkingslengte een afhankelijkheidsfactor (a) van 0,4 aan. Dit zien we als een veilige inschatting; dat betekent dat deze eerder aan de hoge kant is geschat, wat resulteert in een grotere bandbreedte.

Onderstaande tabel toont dat er een groot verschil zit in de variatiecoëfficiënten die volgen uit een berekening met volledige onafhankelijkheid en onafhankelijkheid tussen de trajecten. Het effect van een 25% afwijking ($a = 0,3$ tot $a = 0,5$) van de ingeschatte afhankelijkheidsfactor op de P85-waarde van de prognose is echter beperkt.

Type onzekerheid	Variatiecoëfficiënt prognose	P85 prognose
a = 0 (onafhankelijk)	12% (modelfactor dominant)	€ 19,7 mld.
a = 0,3	18%	€ 20,8 mld.
a = 0,4	21%	€ 21,5 mld.
a = 0,5	25%	€ 22,2 mld.
a = 1 (afhankelijk)	47%	€ 26,1 mld.

Tabel 5: Gevoeligheid van de uitkomst van de analyse voor de afhankelijkheidsfactor

Bijlage C: Berekeningsmethode bandbreedte

Deze bijlage beschrijft hoe we de bandbreedte hebben berekend. Daarbij gaan we met name in op de wijze waarop we om zijn gegaan met afhankelijkheid.

We hebben de bandbreedte analytisch berekend door een optelling van spreidingen. Deze berekening bestaat uit de volgende stappen:

1. We hebben de totale spreiding op de kosten per traject ($\sigma_{traject,i}$). Deze volgt uit de inschatting van de spreiding op de versterkingslengte en op de kosteninschatting van het betreffende traject. Voor de versterkingslengte zijn driehoeksverdelingen toegepast. De kosteninschattingen zijn normaal verdeeld verondersteld. De onzekerheid in de versterkingslengte en kosteninschatting nemen we onderling onafhankelijk aan, zodat voor de variatiecoëfficiënt van de kosten per traject geldt:

$$vc_{traject,i} = \sqrt{vc_{km,i}^2 + vc_{kosten,i}^2 + vc_{km,i}^2 * vc_{kosten,i}^2}$$

Voor de verwachtingswaarde van de kosten geldt:

$$mu_{traject,i} = mu_{km,i} * mu_{kosten,i}$$

De spreiding in de kosten per traject volgt zodoende uit:

$$\sigma_{traject,i} = vc_{traject,i} * mu_{traject,i}$$

2. Op basis van de afhankelijkheidsfactor verdelen we vervolgens per traject de spreiding in een afhankelijk en onafhankelijk deel. Waarbij:

$$\sigma_{traject,i}^2 = \sigma_{afh,i}^2 + \sigma_{onafh,i}^2$$

$$\sigma_{afh,i}^2 = a^2 \sigma_{traject,i}^2$$

$$\sigma_{onafh,i}^2 = (1 - a^2) \sigma_{traject,i}^2$$

3. De afhankelijke spreidingen tellen we lineair op. De onafhankelijke spreidingen tellen we kwadratisch op:

$$\sigma_{afh} = \sum_{i=1}^{157} \sigma_{afh,i}$$

$$\sigma_{onafh}^2 = \sum_{i=1}^{157} \sigma_{onafh,i}^2$$

4. De spreiding op het totaal van de trajecten is het resultaat van de kwadratische optelling van deze twee delen:

$$\sigma_{\Sigma trajecten}^2 = \sigma_{afh}^2 + \sigma_{onafh}^2$$

De verwachtingswaarde van de totale kosten is de som van de verwachtingswaardes per traject. Uit de berekening volgt voor de som van de trajecten een variatiecoëfficiënt van 18,8%.

5. De totale bandbreedte op de opgave volgt uit deze variatiecoëfficiënt (18,8%) en die van de modelfactor (10%). Deze twee onzekerheden veronderstellen we onderling onafhankelijk, zodat:

$$vc_{tot} = \sqrt{vc_{\Sigma trajecten}^2 + vc_{modelfactor}^2 + vc_{\Sigma trajecten}^2 * vc_{modelfactor}^2}$$

Dat resulteert in een totale variatiecoëfficiënt van 21,4% voor de prognose. Ten slotte nemen we aan dat de bandbreedte op de opgave normaal verdeeld is, waarmee de volledige kansverdeling bekend is. De totale kosten zijn namelijk bij goede benadering normaal verdeeld.

Bijlage D: Referenties

Nr.	Omschrijving	Datum	Opsteller
001	Kamerbrief landelijk veiligheidsbeeld primaire waterkeringen	8 november 2023	IenW
001a	Bijlage 1 Onderliggende beslisnota kamerbrief landelijk veiligheidsbeeld primaire waterkeringen	16 oktober 2023	IenW
001b	Bijlage 2 globale kosteninschatting dijkversterkingsopgaven (GKI)	14 september 2023	AT Osborne, W+B
002	Referentiekader Projectaanpak HWBP versie 2.2	8 april 2024	HWBP
003	Eindrapport opgave- en ontwikkelbehoeftegesprekken c07	oktober 2024	HWBP
004	Kostenprognose GKI + OOG def	oktober 2024	IenW
005	Uitdraai db met berekeningsmethodiek d.d. 13-7-2023	oktober 2024	IenW
006	SSK voorbeelden	oktober 2024	IenW
007	Overzicht GKI_Def_20230809 definitief	oktober 2024	IenW
008	Eerste halfjaarrapportage 2023 HWBP	29 augustus 2023	HWBP